

No. 10305

「七家灣溪水文影像監測計畫」

委託單位：雪霸國家公園管理處

受委託者：財團法人成大研究發展基金會

研究主持人：王筱雯

執行單位：國立成功大學水利及海洋工程學系

雪霸國家公園管理處委託辦理報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	IV
摘要.....	V
第一章 前言.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 工作內容.....	2
1.3 預期目標.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 相關研究.....	3
2.2 拆壩與河道環境相關研究.....	14
第三章 研究區域基本資料.....	16
3-1 環境背景資料.....	16
3-2 基本資料蒐集.....	17
第四章 水文、影像監測與現地調查.....	22
4-1 定點監測.....	22
4-2 斷面測量.....	32
4-3 穿越線水深流速.....	35
第五章 河道通洪能力.....	37
第六章 結論與建議.....	39
6.1 結論.....	39
6.2 建議.....	41

附錄一 參考文獻

附錄二 期中審查意見回覆

附錄三 期末審查意見回覆

圖目錄

圖 2-1 將 Marmot Dam 下游鮭魚撈起	4
圖 2-2 壩體移除後即時影像圖	5
圖 2-3 各階段時間序列泥砂含量圖	5
圖 2-4 Marmot Dam 溯源侵蝕終點遷移歷程.....	6
圖 2-5 影像監測	8
圖 2-6 水文泥砂監測	9
圖 2-7 壩體移除後河相演變時間示意圖	14
圖 2-8 不同泥砂淤積高度與組成運移關係圖	15
圖 2-9 七家灣溪河道演變模式	15
圖 3-1 壩體拆除歷程	16
圖 3-2 七家灣溪集水區	18
圖 3-3 七家灣溪流域高程圖	18
圖 3-4 七家灣溪流域坡度圖	18
圖 3-5 七家灣溪流域地質圖	18
圖 3-6 七家灣流域 2001、2002、2009 年崩塌地變遷	19
圖 3-7 新舊崩塌地比對	19
圖 4-1 萬壽橋水位測站之時水位資料	23
圖 4-2 影像監測系統相關照片	25
圖 4-3 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心河道環境.....	32
圖 4-4 S18 斷面(OK-801).....	33
圖 4-5 S17-1 斷面(OK-880).....	34
圖 4-6 穿越線流速水深結果	36
圖 5-1 斷面最大可通洪流量	37

表目錄

表 2-1 高山溪與七家灣溪防砂壩興建及改善紀錄表	12
表 2-2 高山溪攔砂壩興建及改善紀錄表	13
表 4-1 麥德姆颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像	26
表 4-1 (續) 麥德姆颱風期間七家灣溪一號壩影像.....	27
表 4-1 (續) 麥德姆颱風期間七家灣溪一號壩影像.....	28
表 4-2 麥德姆颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像	29
表 4-2 (續) 麥德姆颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像.....	30
表 4-2 (續) 麥德姆颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像.....	31
表 4-3 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道坡度	34

摘要

七家灣溪一號壩於 2011 年 6 月初完成左側壩體移除工程，根據河道演變模式 (Channel Evolution Model)，由於拆壩形成的河川沖淤變化，包括大量泥砂運移、河床上下游型態改變，可能造成上游河道左右河岸坍塌，讓原始河道變寬，切割作用而改變斷面之形狀、淤積之泥砂輸送至下游，增加輸砂量，使得河床部分抬高，減少通洪面積，對下游環境造成影響，針對上述種種考量，實有必要持續性的監測水文及河相變化。

本委託計畫辦理七家灣溪萬壽橋水位、七家灣溪一號壩右岸及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之影像監測，以瞭解洪水事件時河道之變遷，並透過河道通洪能力檢算評估臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道淹水潛勢。根據最大可通洪流量評估結果顯示目前河道通洪能力與 2012 年 2 月 13 日調查結果近似，可容納近 50 年重現期距流量之颱風事件。

本委託辦理計畫依據監測評估資料提出環境維護與適應性管理之建議如下：

1. 汛期前準備

於汛期前(4~6 月)透過河道環境監測，掌握河段坡度及斷面可通洪面積狀況，如河道通洪流量低於 20 年重現期距流量，可以清淤方式調整河道通洪面積及河段坡度，惟考慮重型機具可及性及重機械擾動影響，建議優先處理 S18 至 S17-1 河段間河中砂洲，可將環境衝擊降至最低。

2. 緊急狀況

若 24 小時累積降雨量達 300 mm 以上，考量滿岸流量溢流之風險，可先將臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心前之野放生態池中之臺灣櫻花鉤吻鮭移置安全地方。

第一章 前言

1.1 計畫緣起

為了復育臺灣櫻花鉤吻鮭的棲地連續性，雪霸國家公園處於 2011 年五月底將七家灣溪主流上高度 13 m、庫區已淤滿的一號防砂壩進行左側壩體的拆除。一號壩拆除工程進行階段，為了施工安全的考量，施工單位先行對壩體上游之淤砂進行整理與篩選，並回填至壩體下游右岸處，待回填砂石與河道導引後甫以怪手與破碎機進行壩體拆除工程。

壩體移除後的數月內，溯源侵蝕以拋物面狀的方式向上游傳遞。根據王筱雯(2011)河道縱斷面調查監測結果，溯源侵蝕終點自拆壩後第一場洪水事件往上游延伸至壩上 200 m 處後，其侵蝕速度即減緩；而壩下游泥砂堆積範圍持續往下游延伸，壩下游 500 m 處的淤積形成平坦且緩慢的流況，且主深槽擺盪明顯並偏向右岸，而由於原本淤積於壩體後方之細顆粒被帶往下游，故下游粒徑較拆壩前細化。

根據河道演變模式(Channel Evolution Model)，由於拆壩形成的河川沖淤變化，包括大量泥砂運移、河床上下游型態改變，可能造成上游河道左右河岸坍塌，讓原始河道變寬，切割作用而改變斷面之形狀、淤積之泥砂輸送至下游，增加輸砂量，使得河床部分抬高，且鮭魚生存環境與水質等的重要之物理棲地條件可能會受到衝擊。

本委託辦理計畫針對壩體移除後上游河床下切與下游河床淤高之影響，進一步對七家灣溪河道環境中因河相改變而對保全區域之可能影響深入分析，期望藉由長期的環境調查與紀錄提供國內壩體改善河相變化之與環境衝擊之重要參考依據。

1.2 工作內容

(一) 監測地點

本委託計畫辦理於七家灣溪一號壩右岸及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心設置影像監測系統，並於七家灣溪一號壩下游 1.8 km 處設置水位測站於萬壽橋上。

(二) 工作項目

- 1.辦理七家灣溪萬壽橋水位紀錄。
- 2.辦理七家灣溪一號壩右岸及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之影像紀錄，以瞭解洪水事件時河道之變遷。
- 3.計算汛期前後臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道可通洪流量。

1.3 預期目標

- (一) 藉由現地調查與評估，瞭解洪水期間河道之變遷
- (二) 透過評估，了解壩體改善後對下游保全區域淹水之潛勢
- (三) 依據監測評估資料，提出環境維護與適應性管理之建議

第二章 文獻回顧

2.1 相關研究

有關壩體移除的相關研究，國外至今已累積無數經驗，這些案例在不同環境背景下之目的，包括壩體老舊的安全顧慮，或原有功能喪失時之重新思考，以提供洄游性魚類通道或擴增魚類棲地之用等。國外的壩體拆除原因，除了生態層面的考量(如暢通魚類洄游通道、棲地與河流生態考量)之外，安全層面(如因壩體老舊或損壞而有安全顧慮)與經濟效益層面(壩體原興建功能已經喪失、原有功能被取代、或功能經評估不符經濟效益)的考量，皆是促成拆除壩體之可能原因(王筱雯等人，2013)。當壩體拆除後，大量的泥砂運移將使得河床上下游型態受到改變，進而可能對物理棲地環境、水文、水質以及人類活動造成影響，因此壩體拆除前後持續性的監測有其必要性。

(一) 國外案例

1. Marmot Dam

Marmot Dam 位於美國奧勒岡州 Sandy River，因發電與供水需求而興建於 1909 年，集水區面積約 1316 km²的，其壩高 15 m。根據 Stewart and Grant (2005)，Marmot Dam 於拆壩前攔蓄近 750,000 m³ 的粗細粒徑的泥砂，淤砂坡度向上游延伸了近 3.5 km。由於 Marmot Dam 隔絕魚類往來的通道造成魚類洄游問題，且在 1989 年時已失去原本的功效，而在 1999 年時，波特蘭電力公司(Portland General Electric, PGE)開始評估將其移除的規畫，一方面為避免潰壩造成的危險，一方面也希望幫助野生鮭魚在 Sandy River 之復育。

Marmot Dam 拆除計劃於 2007 年 7 月 24 日開始。Marmot Dam 的拆除方式主要與建壩時相同。首先將水位降低，於原壩址上游設置以當地土石材質，所堆置成暫時性圍堰(coffer dam)將水導開後，再針對混凝土壩體以炸藥進行爆破，混

凝土壩體結構於九月底全數移除。同年 10 月，生物學家先行遷移數百條在影響河道範圍的魚類，移至相關養殖區放置，以免在壩體移除後，泥砂所造成河道濁度飆高，使得當地鮭魚的滅亡，如圖 2-1。在 Marmot Dam 壩體拆除後，隨著一場颱風事件後，上游所堆置成暫時性圍堰將會被侵蝕而倒塌，其歷經過程如圖 2-2 所示(王筱雯，2010)。

波特蘭電力公司、其他相關政府、學術單位及私人企業等為掌握拆壩前後河床演變特性與趨勢，於 2000 年開始進行相關監測，監測項目包含：(1)壩上下游流量、泥砂監測；(2)河道地形調查；(3)影像監測(壩體拆除期間)；(4)溯源侵蝕點遷移；(5)河床質調查。

根據 Cui et al. (2006)監測結果，由圖 2-3 各階段泥砂含量時間序列圖，可知圍堰被沖毀後的數小時內，泥砂濃度上升，但約 12 小時後，則趨於回穩。根據調查，魚類往上洄游多了近 150 km 的棲地可供利用，已在原壩址上游發現為數不少的鮭魚(王筱雯，2010)。Major et al. (2012)透過影像監測及地形量測，分析潰壩後溯源侵蝕點遷移(圖 2-4)及侵蝕土方量。潰壩後 60 小時，溯源侵蝕終點已上溯至壩上游 400 m，溯源侵蝕速率約 480~4800 m/day，總計約 125,000 m³ 土方量(佔原庫區之 17%)被帶往下游。潰壩後 11 個月(2008 年 9 月)，溯源侵蝕終點上溯至壩上游 2 km，拆壩後累計約 373,000 m³ 土方量(佔原庫區之 50%)被帶往下游。



圖 2-1 將 Marmot Dam 下游鮭魚撈起 (<http://www.marmotdam.com/>)



圖 2-2 壩體移除後即時影像圖 (<http://www.marmotdam.com/>)

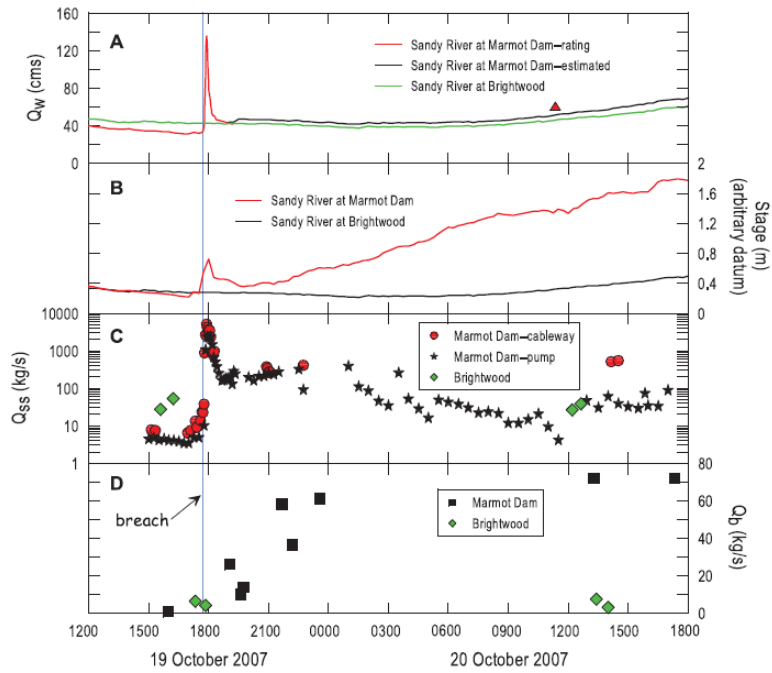
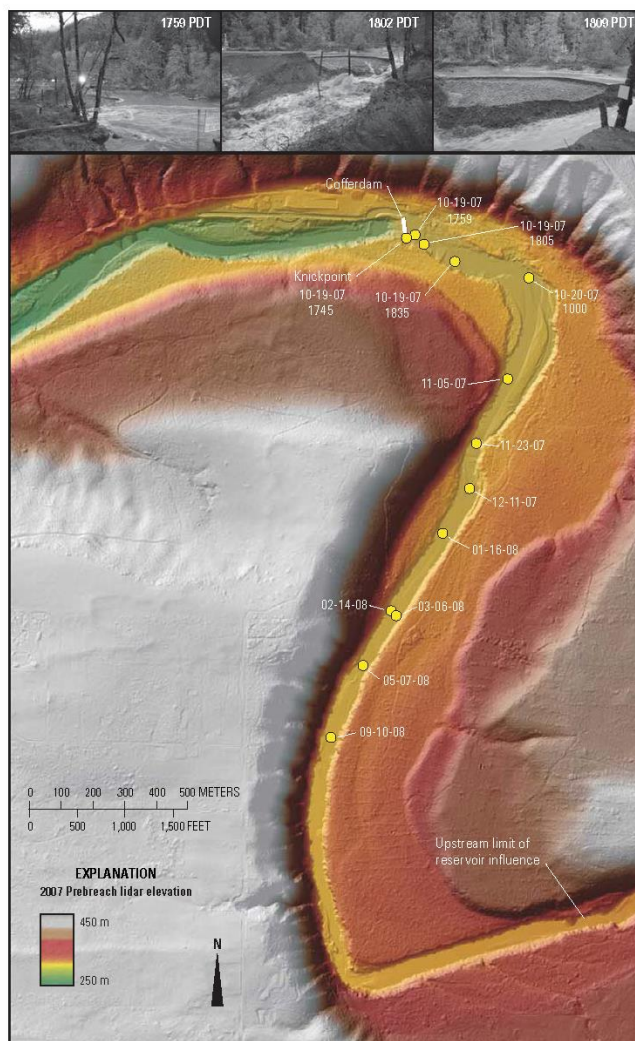


圖 2-3 各階段時間序列泥砂含量圖 (Cui et al., 2006)



Base map modified from Oregon Department of Geology and Mineral Industries 2007 digital data, 1-meter resolution. Lambert Conformal Conic projection. Horizontal datum: North American Datum of 1983.

圖 2-4 Marmot Dam 溯源侵蝕終點遷移歷程 (Major et al, 2012)

2. Elwha Dam 與 Glines Canyon Dam

Elwha Dam 位於美國華盛頓州 Elwha River 上、Strait of Juan de Fuca 出海口上游 7.4 km 處，因伐木業與造紙業之用水需求而興建於 1913 年，其壩體為混擬土重力壩，壩高 32 m，蓄水後形成容量約為 9.83 Mm³ 的 Aldweel 湖。Glines Canyon Dam 位於 Elwha Dam 上游 14.2 km 處，同因用水需求而興建於 1927 年，其壩體為混擬土拱壩，壩高 64 m，蓄水後形成容量約 49.17 Mm³ 的 Mills 湖。兩座大壩以發電為主要目的，須長年保持滿水位以達發電最大效益，因此不具有防洪與供水效益。根據 U.S. Department of Interior (1996) 調查，Elwha Dam 與 Glines Canyon

Dam 庫區影響上游超過 9 km 河段，因而減少洄游性鮭魚將近 90%之棲息地，且由於攔阻上游泥砂與木材於庫區，減少了有機質傳輸且造成下游水溫升高 (Wunderlich et al., 1994)。Elwha Dam 於拆壩前攔蓄近 5 Mm³ 的泥砂，泥砂組成為 47%的泥、黏土與 53%的粗粒徑泥砂；Glines Canyon Dam 於拆壩前攔蓄近 16 Mm³ 的泥砂，泥砂組成為 44%泥、黏土與 56%粗粒徑泥砂(Randle et al., 2014)。為恢復魚類洄游廊道並復育 Elwha River 生態系統，Olympic National Park 於 2011 年 9 月 17 日開始進行壩體拆除工程。Elwha Dam 與 Glines Canyon Dam 拆除工程係採用分段拆除的方式進行，考量魚類可能因工程所造成的濁度升高而無法溯產卵，拆除工程於每年 11 月 1 日至 12 月 31 日、5 月 1 日至 6 月 30 日以及 8 月 1 日至 9 月 15 日期間暫停，以降低拆壩過程對下游設施及生態系統的負面影響。至 2013 年 9 月中為止，Elwha Dam 已完全拆除完畢，Glines Canyon Dam 則於 2014 年夏天拆除完成。

美國地質調查所(USGS)與墾務局(USBR)等相關政府、學術單位等為掌握拆壩前後河道演變特性及建立河道泥砂收支系統，持續進行相關監測，監測項目包含：(1)水位、泥砂監測；(2)河道地形監測；(3)影像監測；(4)溯源侵蝕遷移監測；(5)河床質調查；(6)航照圖監測。

USGS 於 Glines Canyon Dam 下游共設置七處水文測站，其中三測站位於 Elwha Dam 下游，另於 Elwha Dam 下游設置一泥砂測站(圖 2-6-A)。於 2011 年 9 月至 2013 年 9 月監測期間，由流量監測結果可知，拆壩期間發生多場小於兩年重現期距的降雨事件(圖 2-6-E)，其中，最大強度事件發生於 2011 年 11 月 23 日，尖峰流量約為 291cms。於 2012 年 10 月 31 日豪雨事件(尖峰流量約 150cms)期間，輸砂率數日超過 1000 ton/day(Rkm 5.1，圖 2-6-D)，且大多數水位測站(除 Rkm 12.4 外)之記錄皆顯示發生 0.5 至 1.5 m 不等的淤積(圖 2-6-B、圖 2-6-C)；2012 年 11 月 1 日至 14 日期間，位於 Aldwell 湖淤積三角洲上的 Rkm 12.4 的測站則因河道溯源侵蝕而下切 0.4m，指出溯源侵蝕終點在大流量時才開始遷移(圖 2-6-B)。East

et al. (2014)研究成果顯示，水位監測除反應水文事件外，亦可反應豪雨造成泥砂往下游傳遞過程。截至 2013 年 9 月中為止，兩壩庫區總計約 7.1 Mm³ 的土方被帶往下游，造成河道普遍淤積高度約 1m，河道型態由潭瀨演變為辮狀河道(East et al., 2014)

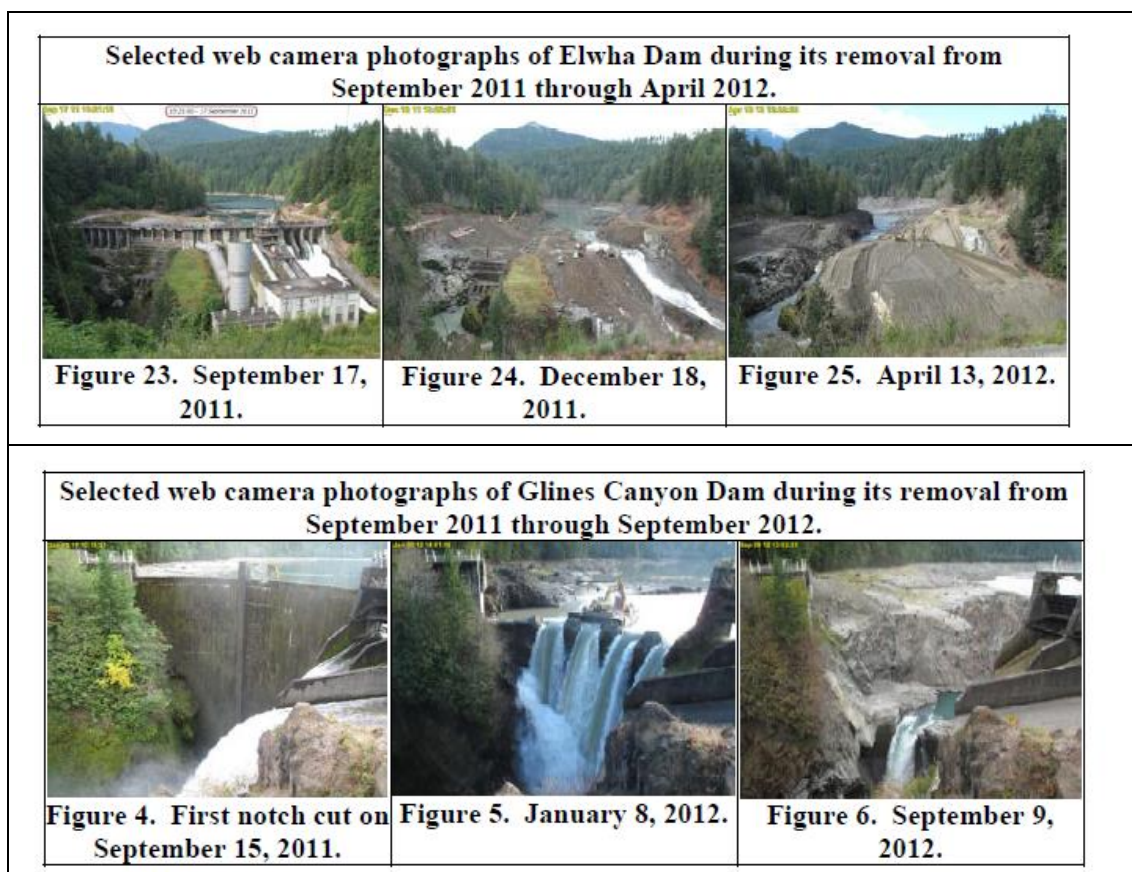


圖 2-5 影像監測 (Randle and Bountry, 2012)

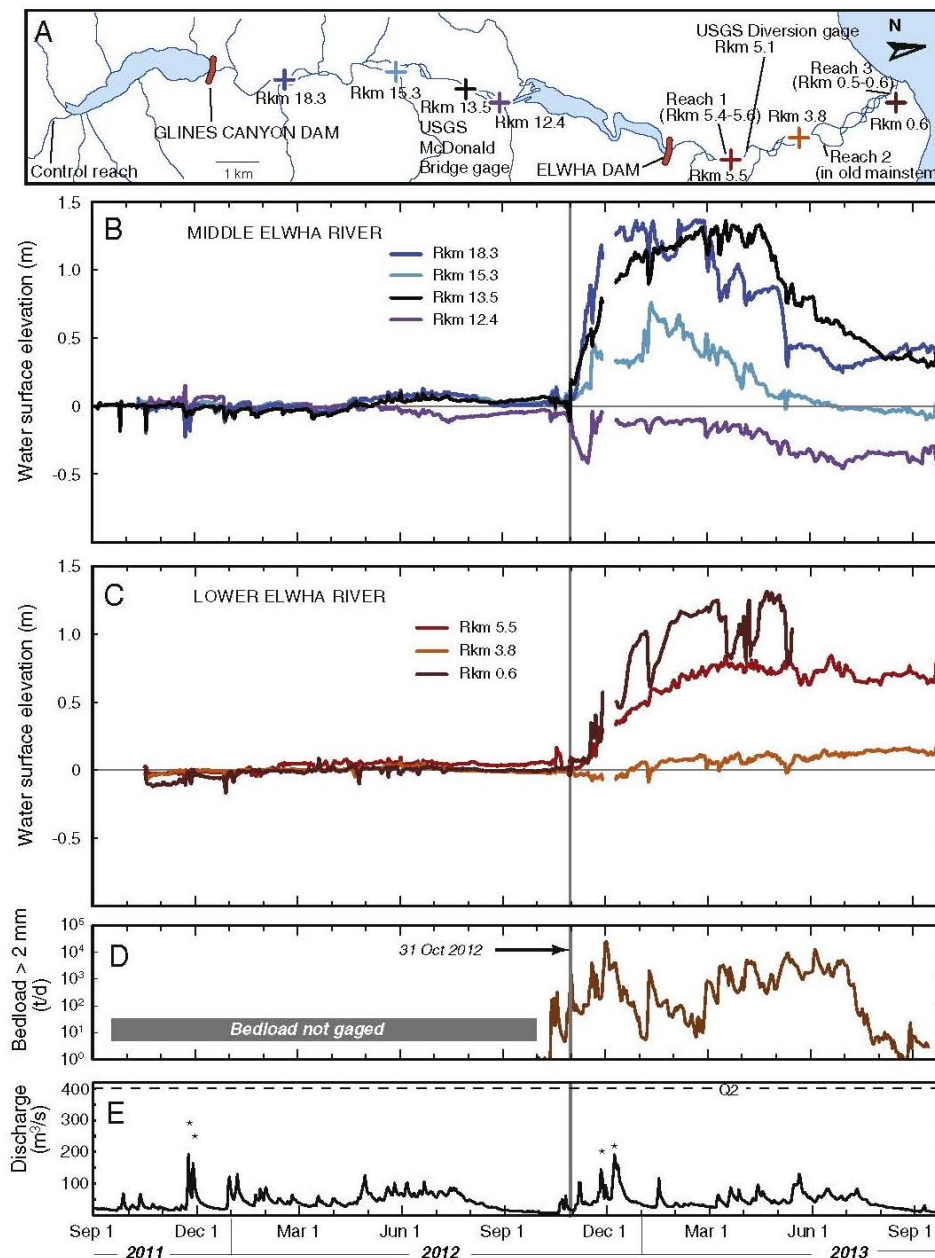


圖 2-6 水文泥砂監測 (East et al., 2014)

除了以上掌握長期監測的兩個拆壩案例之外，國外亦有些評估監測未竟完全的案例值得借鏡：美國紐約州 Hudson River 上的 Fort Edwards Dam 於 1973 年拆除時，工作人員發現下游魚類體內的多氯聯苯(PCBs)濃度開始增加，多年後仍居高不下，乃歸因拆壩時忽略藏在壩上游土砂中的污染物(Marks, 2007)。相關單位因此緊急掌握各面向的持續監測，時至今日，美國政府仍未開放捕撈條紋鱸魚，就是因為魚體中的多氯聯苯濃度偏高之故；另一案例為美國加州 Clear Creek 上

的 Saeltzer Dam，不若拆壩前根據約兩年現場調查與數值模擬結果(Stillwater Science, 1999)所評估之壩體拆除後將僅少量庫區泥砂會被帶往下游並對下游魚類之重要棲地影響不大，壩體於 2000 年秋季拆除後之第一年雖未有大型洪水事件(最大洪峰流量約為 35 cms)，僅約 4,500 m³ 庫區泥砂被帶往下游(Stillwater Science, 2001)，但在氣候等不確定性下，2001 至 2003 年期間，共發生四場大事事件(尖峰流量>80cms)，約 40,000 m³ 庫區泥砂被帶往下游，因而造成下游重要魚類棲地被覆蓋(Ferry and Miller, 2003; Miller and Vizcaino, 2004)。此兩案例突顯了環境條件變動下壩體拆除前後長期監測之重要性。

(二) 國內案例

1. 高山溪一至四號防砂壩

自 1999 年起，雪霸國家公園針對防砂壩阻絕造成鮭魚族群洄游的屏障問題，開始著手評估壩體改善之研究。根據現場調查與水工模型試驗結果，並考量臺灣櫻花鉤吻鮭生態習性、當地氣候因素等，高山溪四座攔砂壩於 1999 年 4 月至 2001 年 10 月間陸續被拆除。高山溪四座防砂壩與七家灣溪一號壩壩體移除相關資訊如表 2-1 與表 2-2 所示。

為了了解壩體改善對於河道地形變化、棲地組成與鮭魚數量之影響，自壩體拆除之後，雪霸國家公園委託相關單位持續進行監測，魚類監測資料顯示，雖然施工期間對於鮭魚棲地產生衝擊，但於壩體改善 3 個月後已恢復以前狀況；且高山溪四號壩於 1999 年 4 月份完成改善後原本生存在三至四號壩河段的鮭魚，有通過四號壩口往上游動的現象。高山溪二至三號壩間河段已逐漸增加之鮭魚數量，顯示上游之族群亦有往下游動現象(王筱雯，2010)。葉昭憲、王永賢(2010)河道地形及棲地監測結果指出，由於壩體改善寬度不足，兩岸樹木由於暴雨及坡面崩塌而進入河道形成殘材壩，再次阻絕魚類洄游路徑，於汛期前先針對殘材予以處理裁切，並期望藉由洪水將殘材帶離壩址，此例突顯長期監測之重要性。

表 2-1 高山溪與七家灣溪防砂壩興建及改善紀錄表 (修改自王筱雯, 2010)

壩名	興建時間	壩高 (m)	改善年份 (施工期 20 天)	事項
高山溪 第四號	1978.01.15 ~ 1978.05.16	10	1999.04	族群調查發現高山溪鮭魚上溯至破壩上峽谷深潭河段棲息。尤以成鮭為主。(2000.06)
高山溪 第三號	1978.05.16 ~ 1978.06.19	10.5	2000.10	族群調查發現高山溪仍有一半數量的鮭魚棲息於高山溪上游，且已發現自然更新的幼鮭。
高山溪 第二號	1973.12.16 ~ 1974.07.21	14	2001.06	-
高山溪 第一號	1973.12.16 ~ 1974.07.21	14	2001.06	-
七家灣溪 一號壩	1972.04.21~ 1972.09.11	13	2011.06	因為河道窄縮、流速變快的關係，加劇下游兩岸沖刷，因此在一號壩的右側約 30 m 處設有蛇籠保護工程。

表 2-2 高山溪攔砂壩興建及改善紀錄表 (修改自王筱雯, 2010)

壩體名稱	改善前 廖林彥(2001) 王筱雯(2010)	改善後 廖林彥(2001) 王筱雯(2011)	現況 王筱雯(2010、2013)
高山溪 一號壩			
高山溪 二號壩			
高山溪 三號壩			
高山溪 四號壩			
七家灣溪 一號壩			

2.2 拆壩與河道環境相關研究

在河相演變方面，Pizzuto (2002)提出在壩體移除後的數個月內，經由河川劇烈的沖刷因而導致壩體上游區域的左右河岸坍塌，原始淤積之泥砂輸送至下游，隨著沖淤變化的演變，經過數月至數十年的時間後，河床形成新的平衡狀態。圖 2-7 為一簡化表示拆壩後歷經時間變化與各段的河相變化，明確指出壩體拆除後河相演變的時間尺度為至少十年，突顯了水文與泥砂長期監測之重要性。壩體移除造成河相的變化莫過於壩上游淤積的泥砂的運移情形，泥砂在將以不同的方式和過程逐漸往下游傳遞，其中淤積泥砂的厚度及河床底質粒徑組成，對於拆壩後河相的變化探討佔有很重要的影響力，而其中關鍵的影響因素即為壩高，如同圖 2-8 所示，當淤積泥砂的組成為細粒料泥砂時，溯源侵蝕為主要的侵蝕機制，在低流量的狀態即可以造成細粒料泥砂的沖刷，相反的粗顆粒在低流量的條件下不易被啟動，造成護甲現象的產生，也導致河床上坡度的不連續，形成一連串的跌水現象，若粒徑組成為偏大的礫石，則需有較大的洪水事件，才能造成顆粒的運移(王筱雯等人，2013)。

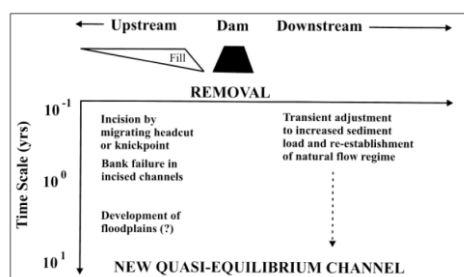


圖 2-7 壩體移除後河相演變時間示意圖 (Pizzuto, 2002)

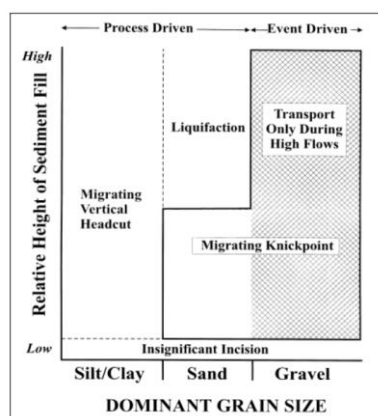


圖 2-8 不同泥砂淤積高度與組成運移關係圖 (Pizzuto, 2002)

為了解拆壩後河道演變的過程與影響機制、及各階段變化的時間尺度，國外雖已有些拆壩與河相觀點的河道演變模式已被發展與應用 (Pizzuto, 2002; Doyle et al., 2002, 2003; Evans, 2007)，但對於較高泥砂產量、陡坡之山區溪流河道演變之探討仍有限。王筱雯等人(2013)藉由七家灣溪一號壩壩體拆除前後水文、地形與影像監測紀錄，依據七家灣溪一號壩上游 48 m 處及下游 30 m 處斷面變化，修正 Doyle et al. (2002)與 Evans (2007)所提出之河道演變模式，分別定義上下游九個與六個河道演變階段，如圖 2-9。其中，上游階段 B'、階段 E1、E2、E3 與過去 Doyle et al.(2003)與 Evans (2007)所提概念有所不同，其原因乃在於壩體規模、河道岩盤、水文事件之時間點、河道泥砂粒徑組成、與河道坡度等因子之差異。據其研究，七家灣溪至今河相尚未達準平衡階段，持續觀察七家灣溪之後續演變與達到準平衡階段之過程有其必要性。

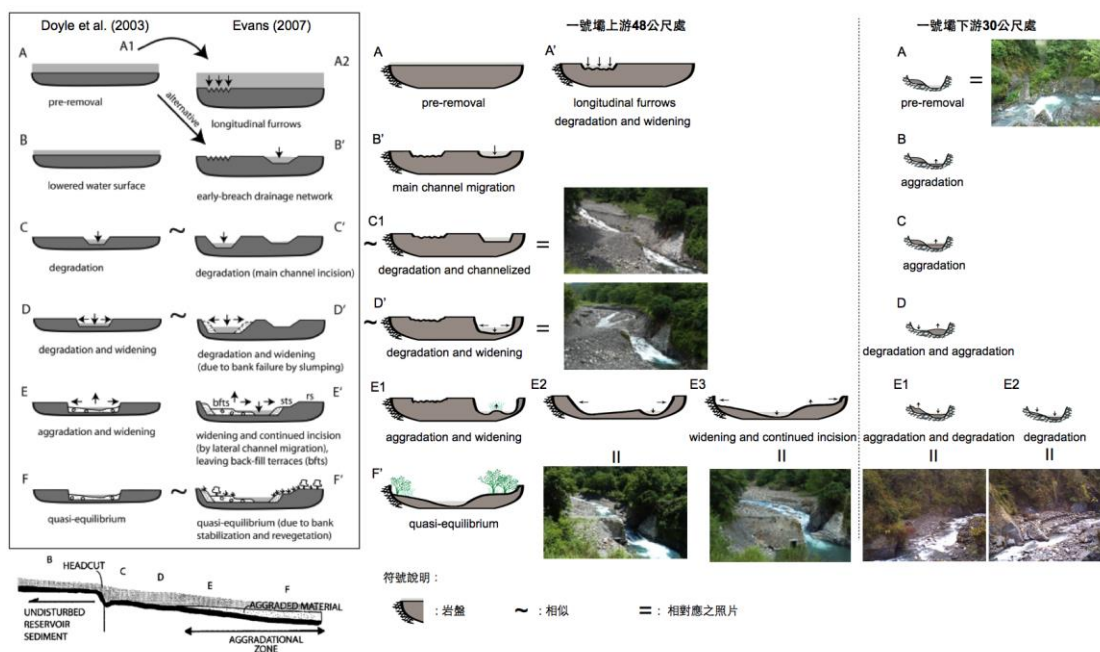


圖 2-9 七家灣溪河道演變模式 (王筱雯等人, 2013; Doyle et al., 2003; Evans, 2007)

第三章 研究區域基本資料

3-1 環境背景資料

七家灣溪位於德基水庫上游集水區，為攔阻水庫集水區上游泥砂，自 1971 年起陸續興建 12 座大型防砂壩；七家灣溪一號壩為七家灣溪流最下游的壩體，興建於 1972 年，壩高 13 m，拆壩前攔砂量約達 200,000m³(王筱雯，2010)。一號壩壩基因受水流衝擊掏刷已被破壞而有安全上的疑慮，加上此溪為臺灣櫻花鉤吻鮭唯一棲地，防砂壩的存在阻絕了鮭魚上溯的洄游路徑。基於上述理由，主管機關雪霸國家公園針對一號壩壩體改善的方式、時機、與可能衝擊，就水文與水理、泥砂與河相、生態與棲地、生態檢核評估及保育效益、民意調查等不同面向評估後，雪霸國家公園參考(王筱雯，2010)針對壩體改善後河道泥砂量、泥砂質、泥砂粒徑與河道主深槽等對河防安全與生態棲地之可能衝擊所建議之壩體改善方式，於 2011 年 5 月 25 日進行為期一週之壩體移除工程，壩體改善過程如圖 3-1。於壩體改善施工前先行遷移七家灣溪一號壩影響河段之櫻花鉤吻鮭上百隻並安置於種源庫，以避免壩體改善時河道內濁度過高而危及臺灣櫻花鉤吻鮭。為施工安全考量，施工單位先對壩體上游之淤砂進行整理與篩選，以作為右側壩體下方之回填材料，並將溪流導引至左岸(如圖 3-1-A)。隨後開始進行壩體左側 1/3 壩體之移除(圖 3-1-B)，壩體於 2011 年 6 月 1 日改善完成(圖 3-1-C)(王筱雯，2011)。

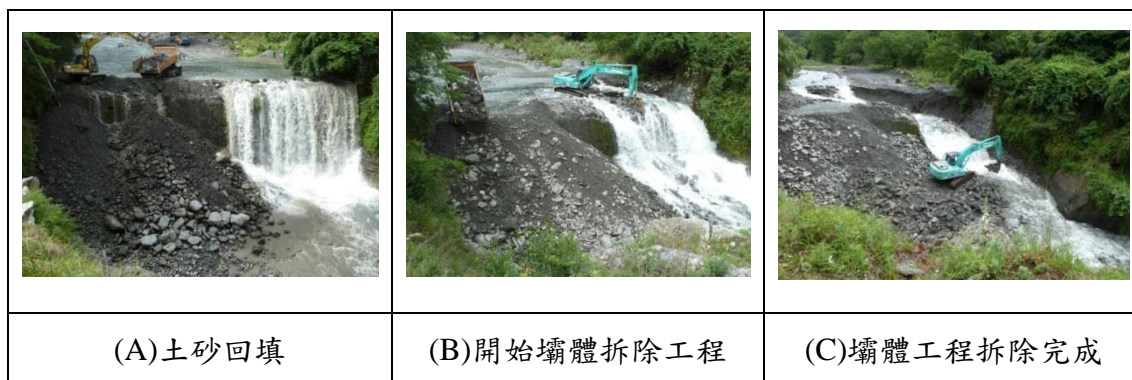


圖 3-1 壩體拆除歷程 (王筱雯，2011)

壩體改善完成後，成功大學王筱雯團隊持續針對水文及河相進行監測。王筱雯(2013)斷面調查成果顯示，壩體改善後至 2012 年 2 月 13 日，由於米雷颱風及東北季風事件，使得溯源侵蝕終點約上溯至壩上游 200 m 處，侵蝕土方量約 20,000 m³。2012 年經歷梅雨、泰利颱風及蘇拉颱風後，於 2012 年 9 月 9 日調查發現溯源侵蝕終點已延伸至壩上游 800 m 處，侵蝕土方量約較上次測量增加 125,000 m³。2013 年經歷蘇力及潭美颱風，溯源侵蝕段終點於 2013 年 10 月 24 日調查並未持續向上延伸，上游侵蝕土方量約較上次測量增加 15,000 m³，總計壩上游河段約近 160,000 m³ 之泥砂量被帶往至下游。

3-2 基本資料蒐集

(一) 地文資料

本計畫之研究範圍，係位於台灣中部地區之武陵農場(圖 3-2)，武陵地區海拔約 1,740~2,100 m，是一個由雪山山脈所圍繞而成的葫蘆形狹長谷地。區域中主要溪流為七家灣溪，與有勝溪、司界蘭溪等匯集後即成為大甲溪上游，屬於德基水庫集水區。七家灣溪流域面積約為 72 km²，總長約 15.3 km，為大甲溪上游的主要發源地，發源於桃山(3325 m)、池有山(3301 m)、品田山(3524 m)、雪山北峰(3702 m)和雪山(又稱興隆山，海拔 3886 m)之南側面，各發源地高程皆超過 3000 m。西北側的品田溪與池有溪匯入桃山西溪(又稱無名溪)，於武陵吊橋附近與北來的桃山北溪匯集成七家灣溪主流；在武陵農場本部附近，有西側的雪山溪(又稱高山溪)匯入七家灣溪本流，在武陵國民賓館附近萬壽橋和迎賓橋間，與有勝溪匯流形成大甲溪主流。七家灣溪平均河寬介於 30 至 150 m 之間、流域平均高程介於 1650 至 3000 m(圖 3-3)；受到各山脈環繞，其流域境內坡度大部份為 55% 以上(圖 3-4)；本區地質由始新世四稜砂岩層和漸新世水長流層及中新世廬山層所構成(圖 3-5)，七家灣溪沿岸之區域多屬侵蝕性河階，表層沖積層既淺且薄，可見裸露出之板岩岩盤。武陵農場靠山地帶屬砂岩地質，平緩地帶 2~4 m 以

上的面層屬礫石、塊岩層，下方為灰、棕黃色的砂岩互層。七家灣河流域坡向分布十分平均(葉昭憲，2007、2008；王筱雯，2010)。

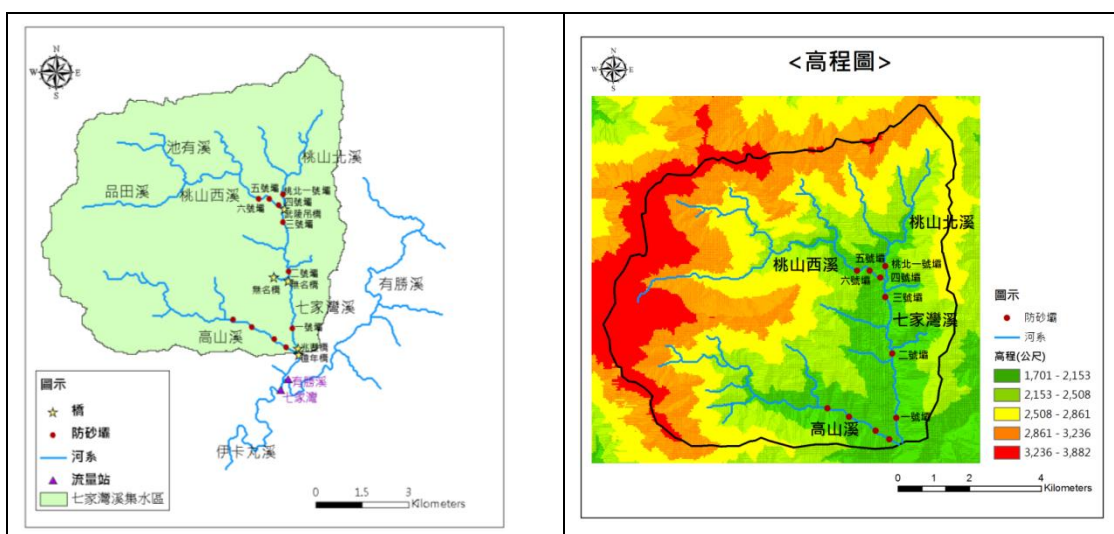


圖 3-2 七家灣溪集水區

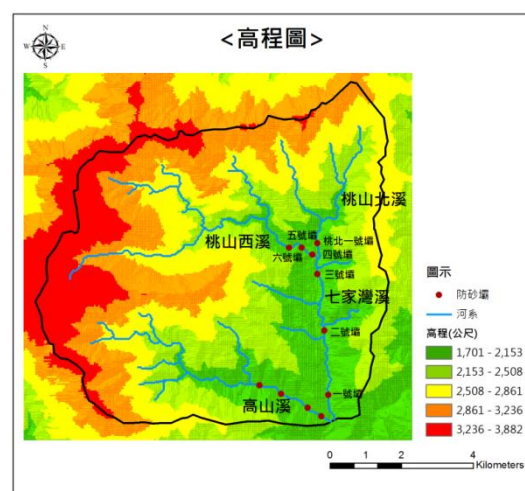


圖 3-3 七家灣河流域高程圖

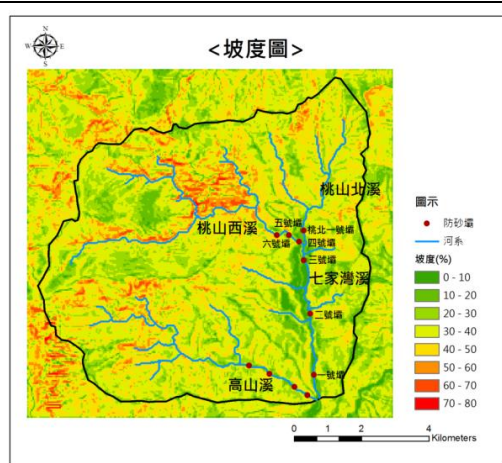


圖 3-4 七家灣河流域坡度圖



圖 3-5 七家灣河流域地質圖

資料來源: 王筱雯，2010

在土地利用方面，為配合臺灣櫻花鉤吻鮭保育計畫之實施，武陵遊憩區之規劃以武陵農場南谷為主，範圍內大部分為武陵農場管有土地，除遊憩區南側及七家灣溪岸，維持原始自然景觀外，皆為農場現有設施。武陵農場內土地除部分放領予場員私有外，其餘均屬國有(包括建地、農業用地及道路)。本區內除農業、遊憩外，無其他產業活動，社會、經濟活動非常有限(王筱雯，2010)。

王筱雯(2010)蒐集研究區域崩塌地相關資訊，根據成功大學防災中心利用衛星航照圖判釋 2001、2002、年與 2009 年莫拉克風災後崩塌情形可知，七家灣溪流流域崩塌情形集中於集水區更上游源頭地區，且 2002 年崩塌地數量較 2001、2009 年多(如圖 3-6)。根據王筱雯(七家灣溪一號壩壩體改善後河道環境衝擊評估,2012)調查一號壩上游 500 公尺及下游 200 公尺內共 7 處崩塌。其中上游 115、250、310 及 425 公尺等四處崩塌地為 2010 年(王筱雯，七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程—泥砂衝擊物理模型及數值分析,2010)即已調查之舊有崩塌地，因強降雨而持續崩塌，使得面積增大，其餘三處皆為新生崩塌地(圖 3-7)。

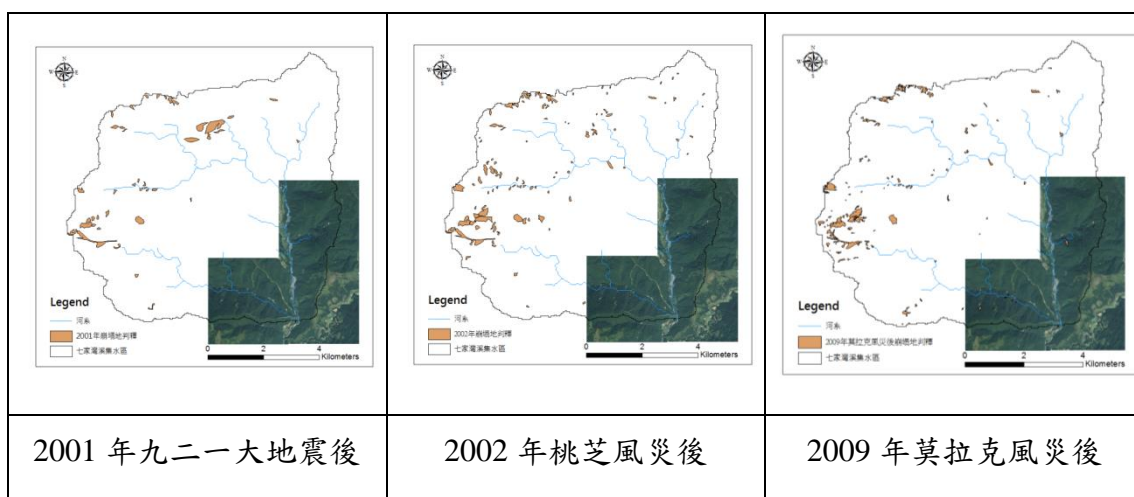


圖 3-6 七家灣流域 2001、2002、2009 年崩塌地變遷 (王筱雯, 2010)

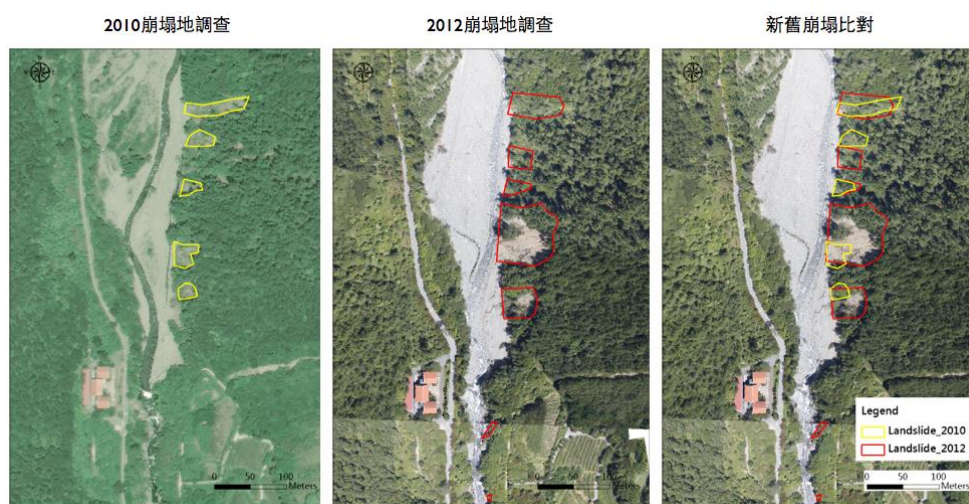


圖 3-7 新舊崩塌地比對 (王筱雯, 2010)

(二) 水文資料

本區年平均氣溫為 15°C 左右；桃山雨量測站為氣象局所紀錄距七家灣溪之最近雨量站，於 1970 至 2012 年記錄期間，平均年降雨量為 1988.1 mm，最大累積降雨曾達 3250 mm (2008 年)，最小累積降雨為 767 mm (1969 年)。七家灣溪流域內設有流量站兩站，分別為台灣電力公司所設置之有勝溪流量站與七家灣流量站。有勝溪流量站位於有勝溪，流域面積為 31.12 km²，流量資料由 1994 年開始紀錄至今，最大瞬時流量為 233.95cms (2007/10/06)；七家灣流量站位於伊卡丸溪，流域面積 110.71 km²，流量資料由 1964 年開始紀錄至今，最大瞬時流量為 884.70cms (2005/07/18)。

由王筱雯(2011)所設置之萬壽橋水位測站紀錄可知，自 2011 年 5 月 24 日拆壩工程開始前至 2013 年 9 月 15 日期間七家灣溪共經歷九次較大型之降雨事件(表 3-1)，造成水位大幅度變化，分別為六場颱風事件，米雷颱風(2011)、泰利颱風(2012)、蘇拉颱風(2012)、天平颱風(2012)、蘇力颱風(2013)、潭美颱風(2013)與一場東北季風鋒面降雨(2011)，及兩場梅雨事件(2012 年 6 月 10 日與 2013 年 4 月 6 日)，於九場事件之外其他時間亦有多次大小不一之小型降雨造成水位變化。萬壽橋水位測站所記錄之最高水位發生於 2012 年蘇拉颱風，水位約為 4.75 m；次高水位發生於 2013 年蘇力颱風，水位約為 3.59 m(王筱雯，2013)。

表 3-1 各事件最高水位值

降雨事件	日期	萬壽橋最大時水位(m)
米雷颱風	2011/6/23~25	1.46 (2011/6/25 11:00)
東北季風	2011/10/3	1.42 (2011/10/3 9:00)
梅雨	2012/6/12	2.79 (2012/6/12 12:00)
泰利颱風	2012/6/19~21	1.19 (2012/6/20 19:00)
蘇拉颱風	2012/7/30~8/3	4.75 (2012/8/2 4:00)
天秤颱風	2012/8/21~25	1.20 (2012/8/24 3:00)
梅雨	2013/4/6	1.36 (2013/4/6 2:00)
蘇力颱風	2013/7/11~13	3.59 (2013/7/13 5:00)
潭美颱風	2013/8/20~22	1.94 (2013/8/21 21:00)

第四章 水文、影像監測與現地調查

本研究為探討拆壩後河相改變對臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心之可能影響，延續王筱雯(2011)於七家灣溪一號壩右岸設置影像監測系統進行監測，並於臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心新設置影像監測系統；另外，延續王筱雯(2011)在七家灣溪一號壩下游 1.8 km 處萬壽橋上所設置水位測站進行水位監測。除上述定點監測儀器外，本委託辦理計畫亦進行重點斷面調查與穿越線流速水深量測，以了解臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道環境變遷及水流特性。

本計畫之現地監測項目及目前之結果如下：

4-1 定點監測

(一) 水文監測

本委託辦理計畫於萬壽橋上所設置之水位測站，採用 Siemens Sitrans Probe LR 型非接觸式雷達波水位計，該型水位計頻率為 5.8GHz，最佳量測深度為 0.3 m 至 20 m，誤差為 0.1%，適用溫度由 -40°C 至 80°C，可符合研究區域之現地環境條件要求。由於洪水事件可能造成底床的沖淤變化，但是雷達波水位計僅能測量水位計到水面的距離，為了校正誤差，本團隊以不定期之人工方式手動量測水位計正下方之水深，以計算出水位計到底床間的距離，再由計算結果扣除水位計測得的資料，即可求得校正後之水深，每次校正的範圍為前一次洪峰流量的下一小時到下一次洪峰流量的水位資料。萬壽橋測站於 2011 年 5 月 24 日開始紀錄至今，紀錄期間，水位計於 2013 年 9 月 15 日送回原廠進行儀器校正，直至 2014 年 3 月 5 日重新開始持續記錄至今，圖 4-1 為 2011 年 5 月 24 日拆壩工程開始前至 2014 年 11 月 3 日水位紀錄。由圖可知 2014 年 3 月 8 日至 2014 年 11 月 3 日期間，麥德姆颱風(2014 年 7 月 21 日~23 日)造成水位大幅度變化，萬壽橋水位測站所記錄之最高水位約為 2.21 m (2014/7/23 6:00)，為近兩年重現期距之事件。

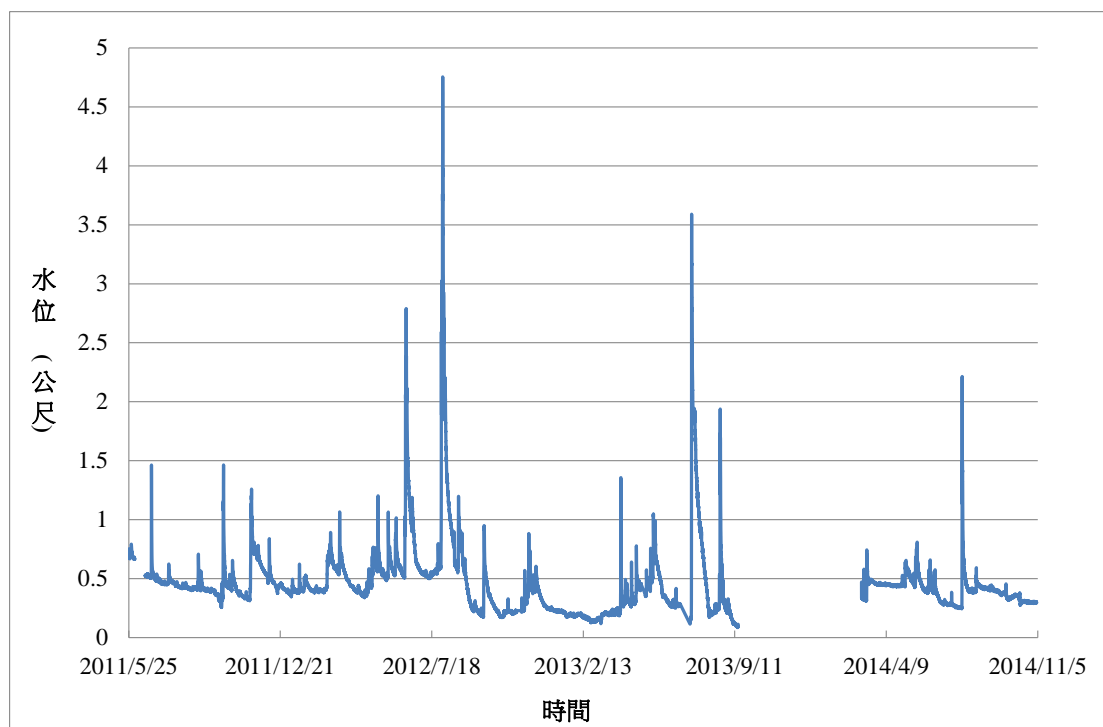


圖 4-1 萬壽橋水位測站之時水位資料

(二)影像監測

為掌握洪水期間一號壩及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道可能影響，本委託辦理計畫延續王筱雯(2011)2011年5月24日於七家灣溪一號壩下游右岸位置(面向上游拍攝)之影像監測系統，並於臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心右岸位置(面向左岸拍攝)新設置影像監測系統，藉以記錄洪水事件完整歷程，監測系統採用高解析度的 IP Camera(EV8781F IP Camera，Video:2592 x 1920)，影像監測系統相關照片如圖 4-2。

表 4-1 及表 4-2 分別為七家灣溪一號壩下游右岸位置及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心右岸位置影像系統於麥德姆颱風事件期間之影像紀錄。

王筱雯(2012)指出壩體改善後，壩體上游河段於 2012 年經歷梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風，壩上游 50 公尺內左右岸土砂幾乎已侵蝕至岸壁處，壩上游左岸 50 至 200 公尺側向侵蝕則接近邊坡坡腳處。根據本委辦計畫一號壩之 7/23 6:00 之影像紀錄(表 4-1)，可知麥德姆颱風事件期間一號壩上游河段尚未達到滿岸流

量且左岸河段未有明顯之河岸侵蝕情形發生(如 7/23 6:00 影像中紅線處)，未來如經大型洪水事件，對壩上游 50 至 200 公尺左岸邊坡穩固及安全可能造成威脅，建議應持續觀察。



圖 4-2 影像監測系統相關照片

表 4-1 麥德姆颱風期間七家灣溪一號壩測站監測影像



表 4-1 (續) 麥德姆颱風期間七家灣溪一號壩影像

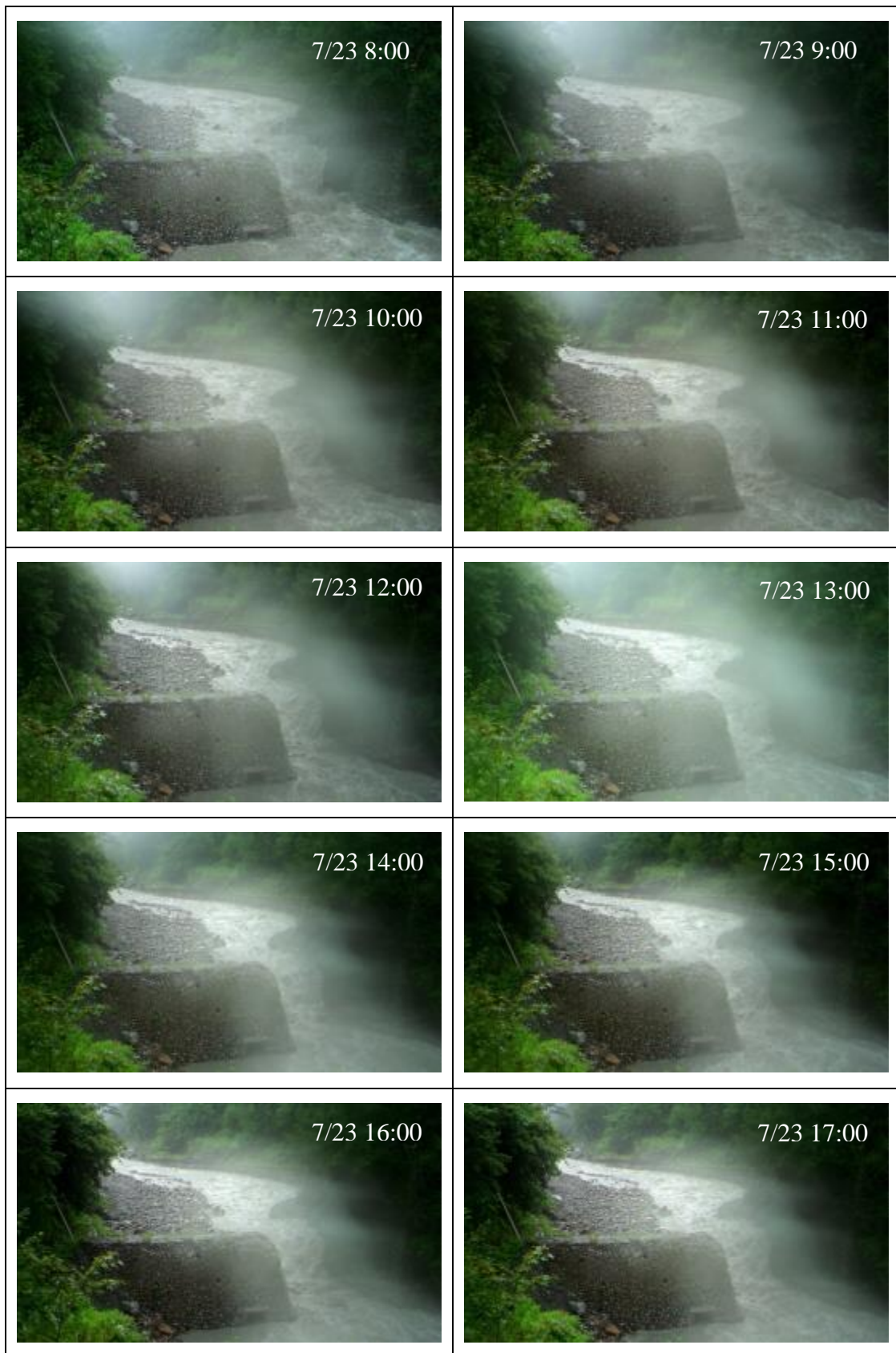


表 4-1 (續) 麥德姆颱風期間七家灣溪一號壩影像



表 4-2 麥德姆颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像



表 4-2 (續) 麥德姆颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像



表 4-2 (續) 麥德姆颱風期間臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心測站監測影像

 <p>7/23 8:00</p>	
--	--

4-2 斷面測量

本委託辦理計畫採用電子全站儀(Leica FlexLine TS02)於臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道進行橫斷面量測，選擇斷面分別為壩下游約 800 m (斷面編號 S18) 與壩下游約 880 m (斷面編號 S17-1)。S18 斷面位於高山溪與七家灣溪匯流口下游約 30 m 處，河寬約 33 m，右岸建築為臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心，左岸為連續岩盤(圖 4-3)。S17-1 位於 S18 斷面下游約 80 m 處，河寬約 43 m，兩岸皆為植生(圖 4-3)。本委託辦理計畫於 2010 年 4 月 11 日至 2014 年 10 月 30 日期間共進行七次調查量測日期分別為 2010 年 4 月 11 日(僅 S18 斷面)、2012 年 2 月 13 日、2012 年 9 月 9 日、2013 年 6 月 26 日、2013 年 10 月 24 日、2014 年 5 月 17 日以及 2014 年 10 月 30 日。



圖 4-3 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心河道環境 (現場照片於 2012 年 11 月 12 日拍攝；
航照底圖為農林航空測量所於 2008 年 9 月 21 日拍攝)

S18 斷面調查結果如圖 4-4。2010 年 4 月 11 日斷面量測因量測密度不足，雖無法充分描述河道形狀，但與壩體拆除後(2012 年 2 月 13 日)比較，兩次量測主深槽高程結果變化不明顯，可知上游河道下切尚未造成此處淤積，直至 2012 年梅雨、泰利颱風及蘇拉颱風後造成下游明顯淤積，由 2012 年 9 月 9 日量測結果可知主深槽抬高約 1.4 m，最大淤積深度約為 2 m，並形成河中砂洲。2013 年蘇力颱風前後，主深槽高程無明顯變化，河中砂洲先些微淤積(2013 年 6 月 26 日)後沖刷(2013 年 10 月 24 日)，最大沖刷深度約 0.9 m。2014 年 5 月 17 日調查與前次量測結果比較無明顯沖淤變化。麥德姆颱風後，由 2014 年 10 月 30 日量測結果可知主深槽抬高約 0.2 m，整體而言，河道沖淤互現。

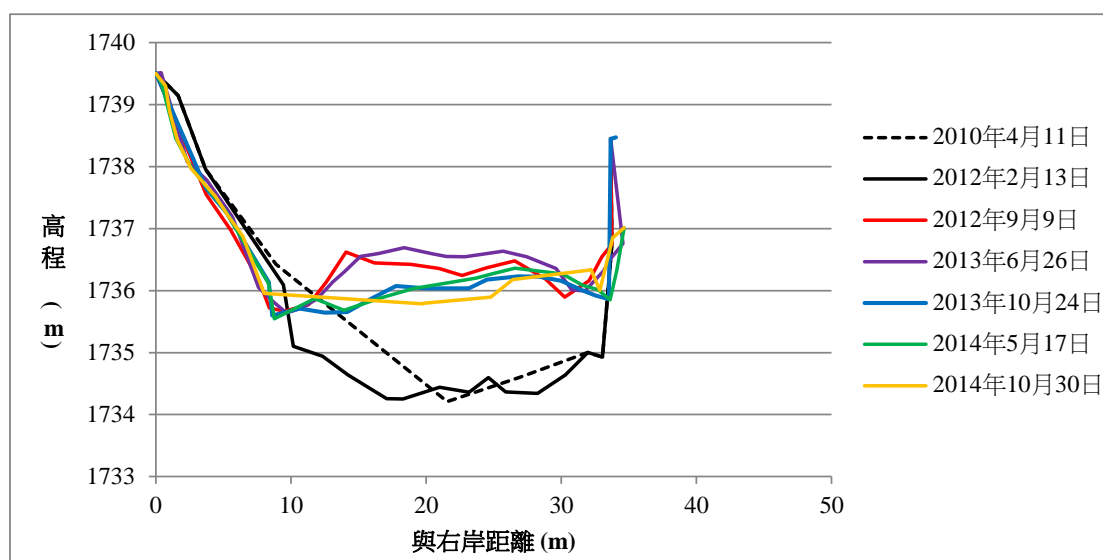


圖 4-4 S18 斷面(OK-801)

S17-1 斷面調查結果如圖 4-5。2012 年梅雨、泰利颱風及蘇拉颱風造成此處明顯淤積，由 2012 年 9 月 9 日量測結果可知主深槽抬高約 0.8 m，最大淤積深度約為 3 m，造成原主深槽位置形成河中砂洲，主深槽由距右岸 28 m 移至距右岸 12 m 處。2013 年蘇力颱風前(2013 年 6 月 26 日)調查結果顯示河道沖淤互現，蘇力颱風後(2013 年 10 月 24 日)，河道有沖刷情形發生，主深槽下刷約 0.3 m，河中砂洲最大沖刷深度約 2 m。2014 年 5 月 17 日調查結果與前次量測結果比較無明顯沖淤變化。麥德姆颱風後，由 2014 年 10 月 30 日量測結果可知距右岸 20 m

至 26 m 之河中砂洲並無明顯沖淤變化，河中砂洲兩側河槽則有沖刷情形發生，主深槽下刷約 0.4 m，距右岸 26~43 m 河槽之最大沖刷深度約 0.7 m。

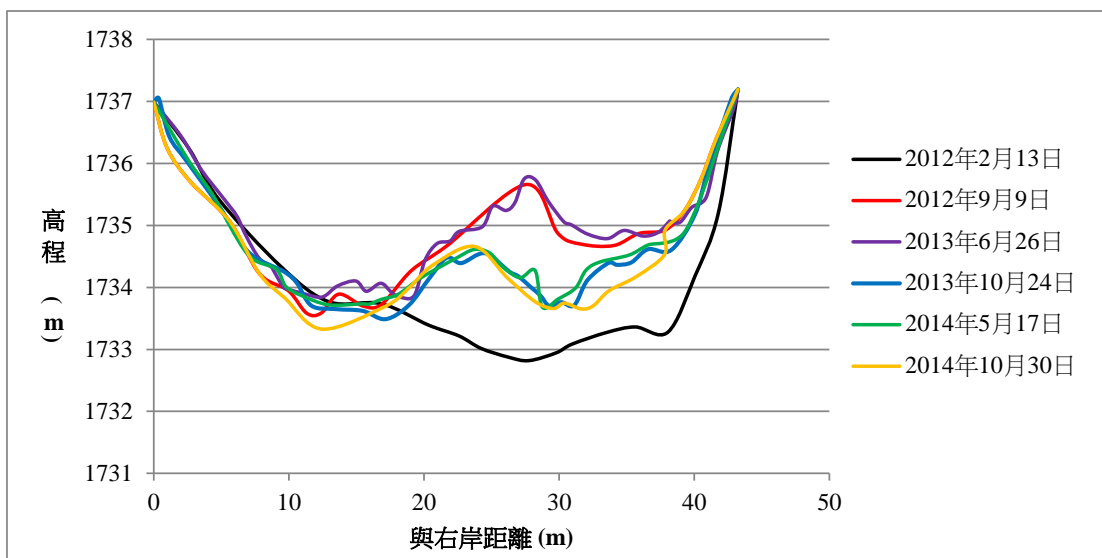


圖 4-5 S17-1 斷面(OK-880)

根據兩斷面調查結果之主深槽高程推算各時期河道坡度，如表 4-3 所示。由調查結果可知，洪水事件期間上游帶下來的大量泥砂造成下游河道淤積而使坡度變陡，汛期過後隨著上游來砂減少，原本淤積的泥砂漸漸被帶往下游而使坡度趨緩。2014 年麥德姆颱風後，S18 斷面(壩下游 801 m)之主深槽高程抬高 0.2 m，S17-1 斷面(壩下游 880 m)之主深槽下刷 0.4 m，造成該河段坡度由 0.023 增至 0.032。

表 4-3 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道坡度

日期	2012/2/13	2012/9/9	2013/6/26	2013/10/24	2014/5/17	2014/10/30
坡度	0.018	0.026	0.022	0.026	0.023	0.032

4-3 穿越線水深流速

為了解臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道環境之水流特性，本委託辦理計畫於 2014 年 5 月 17 日選取 S18 斷面(壩下游 801 m)處進行穿越線水深流速調查，藉由水深流速調查結果檢算河道之曼寧 N 值，並供河道最大可通洪流量計算使用。本委託辦理計畫使用 Global Water FP-111 手持式流速計進行穿越線水深流速調查，儀器測桿為可調整式(112~182cm)，流速適用範圍 0.1~6.1 m/s，流速精度 0.03 m/s，符合現地之需求。

水深流速的量測方法詳細步驟如下(王筱雯，2011)：

1. 利用斷面資料找尋大斷面之兩岸樁點，並確定進行量測之斷面。
2. 挑選兩岸樁點時，選斷面流況較穩定處，盡量避免通過流況混亂或特殊的區域，如巨石前或急流處。
3. 利用全站儀定出斷面右岸點位，並輔以 GPS 定出兩岸樁點之座標，詳細紀錄後，再將樁點進行噴漆標記。
4. 以皮捲尺拉直於兩岸樁點上空以利照片判讀，平行斷面拍照後照片需明顯可看出兩岸樁點之標記。
5. 由一人手持流速儀於選取斷面，每間隔一公尺量測該點之流速與水深，並報出數據由岸的人紀錄。如遇流況複雜，造成水深不易判讀之處，需重覆量取三次並取平均。
6. 使用流速計測定斷面上各點位之 20%和 80%水深處之流速，再算其平均值定為該點位之流速。

根據穿越線調查所得之流速水深結果(如圖 4-6)，利用梯形面積法(如 4-1 式)推求測量當時流量約為 4.78 cms，由 4.2 節斷面調查結果可知此河段之河道坡度約為 0.023、水力半徑約為 0.25 m，經曼寧公式(如 4-2 式)檢算河道曼寧 N 值約為 0.056。

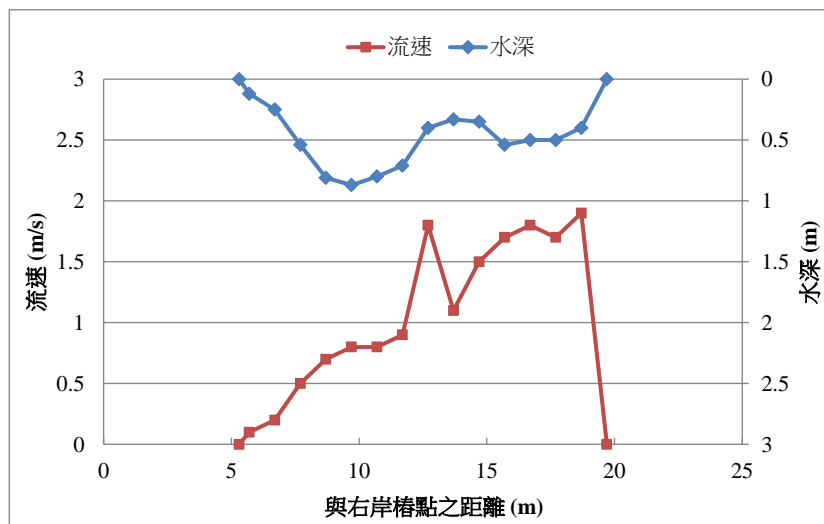


圖 4-6 穿越線流速水深結果

$$\sum Q = (d_n + d_{n+1})/2 * (D_{n+1} - D_n) * (V_n + V_{n+1})/2 \quad (4-1 \text{ 式})$$

其中，Q 為流量(cms)，d 為水深(m)，D 為與右岸樁點之距離(m)，V 為流速(m/s)。

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (4-2 \text{ 式})$$

其中，Q 為流量(cms)，R 為水力半徑(m)，S 為河道坡度。

第五章 河道通洪能力

本委託辦理計畫利用七家灣流量站 1981 年至 2009 年各年年最大瞬時流量資料進行之流量頻率分析，並搭配集水區面積權重法推求得臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心各重現期距對應之流量。本委託辦理計畫針對現地調查結果，進一步計算 S18 與 S17-1 兩處斷面最大通洪流量(或稱過水容量(Water carrying capacity)，係指斷面在單位時間內能通過之最大流量)，以探討臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心洪水潛勢，兩斷面不同時期最大可通洪流量計算結果如圖 5-1。

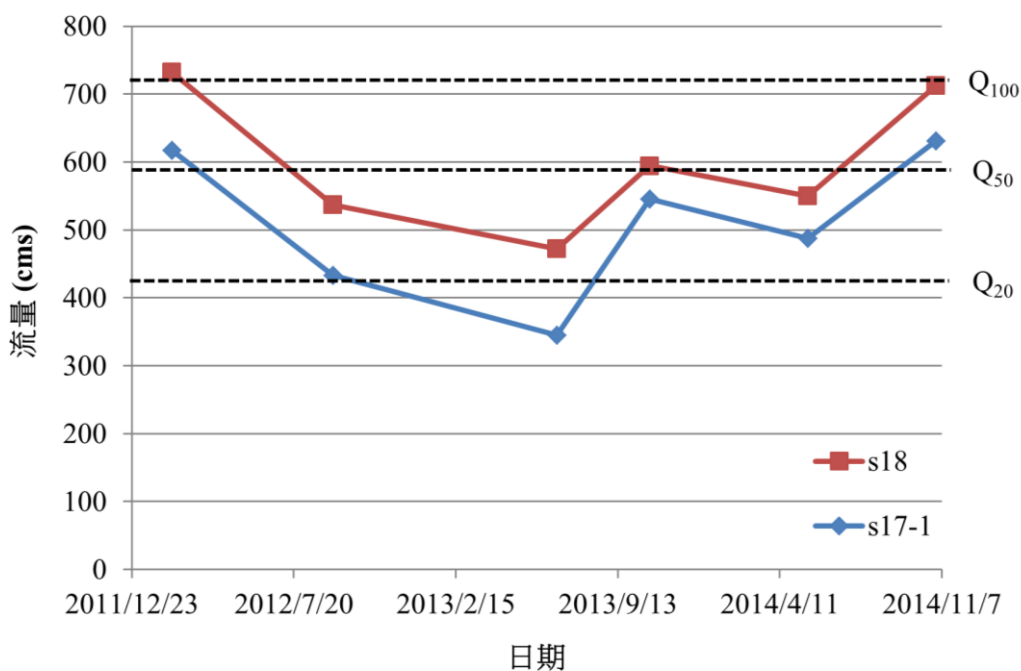


圖 5-1 斷面最大可通洪流量

由圖 5-1 可知，2012 年 2 月 13 日 S18 與 S17-1 斷面之最大可通洪流量分別為 745 cms 及 628 cms，可呼應王筱雯(2012)所估算 2010 年 4 月 11 日至 2012 年 2 月 13 日期間庫區總計約 20,000 m³ 侵蝕土方量被帶往下游，但尚未造成臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河段明顯淤積。根據 2012 年 9 月 9 日結果可知，S18 與 S17-1 斷面之最大可通洪流量分別減少至 546 cms 及 411 cms，主要原因為梅雨、泰利

颱風及蘇拉颱風造成庫區總計約 125,000 m³ 侵蝕土方量被帶往下游，並造成下游河道明顯淤積。隨著泥砂持續淤積，通洪面積持續減小，河段坡度由 0.026 降至 0.022，由 2013 年 6 月 26 日結果顯示，S18 與 S17-1 斷面之最大可通洪流量分別再減少至 481 cms 及 351 cms。然而，2013 年 10 月 24 日結果發現 S18 與 S17-1 斷面之最大可通洪流量分別增加至 605 cms 及 555 cms，進一步比對王筱雯(2013) 估算近 5 年重現期距蘇力颱風造成庫區總計約 10,000 m³ 侵蝕土方量被帶往下游，由於上游泥砂來源不足，而使洪水將原本淤積在下游河道中的泥砂帶往更下游，使通洪面積增加。今年度麥德姆颱風前(由 2014 年 5 月 17 日)，S18 與 S17-1 可通洪流量分別減少至 560 cms 及 496 cms，由斷面調查結果可知兩次調查期間斷面雖無明顯沖淤變化，但河段坡度由 0.026 降至 0.023，以致斷面通洪能力降低。麥德姆颱風後(2014 年 10 月 30 日)，S18 與 S17-1 可通洪流量分別增加至 712 cms 及 631 cms，由斷面調查結果可知兩次調查期間斷面雖無明顯沖淤變化，但河段坡度由 0.023 升至 0.032，以致斷面通洪能力提高。

本委託辦理計畫以河道通洪能力檢算評估臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道淹水潛勢，目前河道通洪能力與 2012 年 2 月 13 日調查結果近似，可容納近 50 年重現期距流量之颱風事件。河道通洪能力隨著坡度及斷面床形變化而改變，因此需藉由河道環境監測，掌握通洪能力狀況，以了解保全區域淹水之潛勢。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本委託辦理計畫針對壩體移除後上游河床下切與下游河床淤高之影響，進一步對七家灣溪河道環境中因河相改變而對保全區域之可能影響深入分析：

(一) 一號壩河道環境分析

壩體改善後，壩體上游河段於 2012 年經歷梅雨、泰利颱風以及蘇拉颱風，壩上游 50 公尺內左右岸土砂幾乎已侵蝕至岸壁處，壩上游左岸 50 至 200 公尺側向侵蝕則接近邊坡坡腳處(王筱雯, 2012)，今年度近 2 年重現期距流量的麥德姆颱風並未造成明顯之河岸侵蝕情形發生，但壩上游 50 至 200 公尺左岸邊坡穩固及安全仍有可能受到未來大型洪水事件之威脅。

(二) 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心河道環境分析

大流量下，雖有滿岸流量溢流之風險，但因河床泥砂之啟動等劇烈泥砂運移行為，原本淤積的泥砂可能被再帶往下游，河道通洪面積增加可減緩溢淹風險。由 2013 年 6 月 26 日及 2014 年 5 月 17 日兩次調查可知，於非汛期期間，生態中心周圍河道坡度皆由陡變緩，以致通洪斷面減少之情形。隨後發生之蘇力颱風(近 5 年重現期距流量)及麥德姆颱風(近 2 年重現期距流量)之後，皆使下游河道可通洪流量增加，得以佐證上述論點。本委託辦理計畫以河道通洪能力檢算評估臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道淹水潛勢，目前河道通洪能力與 2012 年 2 月 13 日調查結果近似，可容納近 50 年重現期距流量之颱風事件。由於河道通洪能力隨著坡度及斷面床形變化而改變，因此需藉由河道環境監測，掌握通洪能力狀況，以了解保全區域淹水之潛勢。

根據歷史水文事件，2004 年艾利颱風(大於 10 年重現期距流量)、2005 年海棠颱風(50 年重現期距流量)及 2012 年蘇拉颱風(20 年重現期距流量)為七家灣溪重要歷史水文事件。艾利颱風期間，前 24 小時累積降雨量為 332 mm，尖峰流量為 510 cms；海棠颱風前 24 小時累積降雨量為 338 mm，尖峰流量 844cms；蘇拉颱風前 24 小時累積降雨量為 355.5 mm，尖峰流量 573 cms。由這三場歷史事件可知，若事件發生開始之 24 小時內累積降雨高於 300 mm，有高機率發生 10 年以上洪水事件。另根據行政院農業委員會水土保持局公布之土石流警戒基準值簡表(<http://246.swcb.gov.tw/Doc/DebrisAlertValueA4.jpg>)，台中市和平區之警戒值亦為 300 mm，建議未來臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心之緊急狀況亦可參考土石流防災資訊網之警戒資訊(<http://246.swcb.gov.tw/>)。

(三) 適應性管理

未來棲地改善(拆壩)將成為臺灣櫻花鉤吻鮭延續族群生存的重要工作，然而壩體改善期間可能引起的環境衝擊，包含了流量的瞬間改變、下游深潭為泥砂填滿、或增加水的濁度，與由於重機械的擾動所產生的影響，因此需要選擇避開生物物種的關鍵時期，且需注意施工時間不要太長，並佐以泥砂監測，並可視必要性將下游鮭魚捕捉移置他處以確保其不受傷害(王筱雯，2010)。由於生態環境的不確定性與變動，拆壩後的河道環境變化有其不確定性，泥砂方面的不確定性包含(1)泥砂不同粒徑之啟動流量、(2)溯源侵蝕速率、侵蝕終點位置及侵蝕土方量與水文事件的關係；河相方面的不確定性包含(1)泥砂堆積位置、(2)掩埋下游潭瀨等水域型態之程度、(3)保全區域洪災潛勢提高之可能等；生態方面的不確定性則包含(1)下游河道粒徑組成的改變、(2)細粒料填縫程度等。在國外許多拆壩後河相變化的相關案例與文獻明確指出壩體拆除後河相演變的時間尺度為至少十年，以及本團隊相關研究指出台灣環境變異性較多數國外案例為大且河道演變模式有所不同，七家灣溪至今河相尚未達準平衡階段，因此持續觀察七家灣溪之後續演變與達到準平衡階段之過程有其必要性。本計畫因而提出適應性管理

(Adaptive Management)之策略建議，即指在面對具有不確定性之系統時，藉由長期監測的方式，動態性視實際狀況調整管理措施。由於生態環境雖具有知識與原則為科學基礎，但生態系統是動態且經常變化的，因此，任何的管理或人工施作方法皆應視為假設，有待進一步的研究與加以檢驗，並據以隨時修正調整管理做法，適應性管理的操作即為必要手段(王筱雯，2010)。當壩體拆除後，大量的泥砂運移將使得河床上下游型態受到改變，進而可能對物理棲地環境、水文、水質以及人類活動造成影響，因此壩體拆除後對於水文與泥砂等河相特性進行十年以上的持續性監測有其必要性。

6.2 建議

本委託辦理計畫依據監測評估資料提出環境維護與適應性管理之建議如下：

(一) 一號壩

1. 長期監測

七家灣溪河道在不同強度水文事件下之環境變動性與複雜性高，因此有河道狀況長期監測之必要。建議可針對一號壩上游 50 至 200 公尺之左岸側向侵蝕情形，以現地河床橫斷面高程調查輔以影像監測掌握河岸狀況，進一步評估保全措施。另建議持續針對殘留壩體的安全性進行調查與了解。

(二) 臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心

1. 長期監測

建議針對臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心周圍河道之淹水潛勢，以現地河床縱橫斷面高程調查輔以水文及影像監測掌握保全區域之河道狀況，以做立即性之應對。

2. 汛期前準備

於汛期前(4~6 月)透過河道環境監測，掌握河段坡度及斷面可通洪面積狀況，如河道通洪流量低於 20 年重現期距流量，可以清淤方式調整河道通洪面積及河段坡度，惟考慮重型機具可及性及重機械擾動影響，建議優先處理 S18 至 S17-1 河段間河中砂洲，可將環境衝擊降至最低。

3. 緊急狀況

若 24 小時累積降雨量達 300 mm 以上，考量滿岸流量溢流之風險，可先將臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心前之野放生態池中之臺灣櫻花鉤吻鮭移置安全地方。

附錄一

參考文獻

1. Cui, Y. and Wilcox, A., 2006. Numerical Modeling of Sediment Transport upon Dam Removal: Application to Marmot Dam in Sandy River, Oregon. In: Garcia, M.H. (ed), Sedimentation Engineering, ASCE Manual 110, ASCE, Reston VA.
2. Doyle, M.W., Stanley, E.H., and Harbor, J.M., 2002. Geomorphic analogies for assessing probable channel response to dam removal. *Journal of the American Water Resources Association* 38(6): 1567-1579.
3. Doyle, M.W., Stanley E.H., and Harbor J.M., 2003. Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin.” *Water Resource Research*, 39(1), 1-15.
4. East, A.E., Pess, G.R., Bountry J.A., Magirl, C.S., Ritchie, A.C., Logan, J.B., Randle, T.J., Mastin, M.C., Minear, J.T., Duda, J.J., Liermann, M.C., McHenry, M.L., Beechie, T.J., Shafroth, P.B., 2014. Large-scale dam removal on Elwha River, Washington, USA: River channel and floodplain geomorphic change. *Geomorphology*, article in press.
5. Evans, J.E., 2007. Sediment Impacts of the 1994 Failure of IVEX Dam (Chagrin River, NE Ohio): A Test of Channel Evolution Models.” *Journal of Great Lakes Research*, 33(sp2), 90-102.
6. Ferry, M. and Miller, P., 2003. The removal of Saeltzer Dam on Clear Creek: An update. *Water Resources Library*, U.C. Berkeley.
7. Miller, P., and Vizcaino, P., 2004. Channel response to dam removal, Clear Creek, California. *Water Resources Library*, U.C. Berkeley.
8. Pizzuto, J., 2002. Effects of Dam Removal on River Form and Process, *BioScience* 52(8): 683 - 691.”

9. Stewart, G., Grant, G.E., 2005. Potential Geomorphic and Ecological Impacts of Marmot Dam Removal, Sandy River, OR: Final Report. Prepared for Portland General Electric, Portland, Oregon, July 2005.
10. Stillwater Sciences, 2001. Comparison of predicted and observed geomorphic changes following the removal of Saeltzer Dam: Task 6 Deliverable Report. Stillwater Science, Berkeley, CA.
11. Major, J.J., O'Connor, J.E., Podolak, C.J., Keith, M.K., Grant, G.E., Spicer, K.R., Pittman, S., Bragg, H.M., Wallick, J.R., Tanner, D.Q., Rhode, A., and Wilcock, P.R., 2012. Geomorphic response of the Sandy River, Oregon, to removal of Marmot Dam. USGS Professional Paper, 1792, 64.
12. Randle, T.J., Bountry, J.A., and Ritchie, A., Wille, K., 2014. Large-scale dam removal on Elwha River, Washington, USA: erosion of reservoir sediment. *Geomorphology*, article in press.
13. U.S. Department of Interior, 1996. Removal of Elwha and Glines Canyon Dams. U.S. Bureau of Reclamation. Elwha Technical Series PN-95-7: 86.
14. Wunderlich, R.C., Winter, B.D., and Meyer, J.H., 1994. Restoration of the Elwha River ecosystem. *Fisheries* 19(8):11-19.
15. 廖林彥，2001，高山溪防砂壩改善前後棲地變之調查研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
16. 王筱雯，2010，七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程－泥砂衝擊物理模型及數值分析，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
17. 王筱雯，2011，武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究-七家灣溪一號壩壩體改善工程之水文與泥砂監測，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
18. 王筱雯，2012，七家溪一號壩壩體改善後河道環境衝擊評估，內政部營建署雪霸國家公園管理處。

19. 王筱雯、郭偉丞、張家豪，2013，七家灣溪拆壩後之河道演變模式，中華水土保持學報, 44(4): 271-281.
20. 王筱雯，2013，武陵地區溪流生態系及七家灣溪一號防砂壩壩體改善後研究-物理棲地與水文泥砂研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
21. 葉昭憲，2007，七家灣溪壩體改善研究評估，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
22. 葉昭憲、王傳益，2008，七家灣溪一號防砂壩壩體改善之試驗研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。
23. 葉昭憲、王永賢，2010，武陵地區生態系長期監測與研究-物理棲地研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處。

附錄二

期中審查意見回覆

103 年度七家灣溪水文影像監測

委託辦理期中簡報審查意見處理情形

日期：中華民國 103 年 06 月 26 日 上午 10 點 30 分

地點：雪霸國家公園管理處 第一會議室

主持人：李處長 秋芳

紀錄：鍾雲喜

審查意見	處理情形
李秋芳處長	
1. 棲地改善(拆壩)將成為未來臺灣櫻花鉤吻鮭延續族群生存的重要工作，然而(拆壩)將擾動影響臺灣櫻花鉤吻鮭棲地，請受託單位針對此一問題提供本處適切作法，以為經營管理之參考。	感謝建議，經營管理之相關建議如第六章。
2. 有關棲地改善後之預警措施，例如河段淤積之清淤、復育中心環境保全等，請提供建議供本處因應執行。	感謝建議，相關預警措施及適應性管理建議如第六章。
鄭瑞昌秘書	
1. 報告中指出萬壽橋因颱風影響造成水位上升，請受託單位說明如何測得水位前後之高度分析。	感謝意見。由於洪水事件可能造成底床的沖淤變化，但是雷達波水位計僅能量測水位計到水面的距離，為了校正誤差，本團隊以不定期之人工方式手動量測水位計正下方之水深，以計算出水位計到底床間的距離，再由計算結果扣除水位計測得的資料，即可求得校正後之水深，每次校正的範圍為前一次洪峰流量的下一小時到下一次洪峰流量的水位資料。
于淑芬課長	
1. 報告書 23 頁倒數第 2 行(2014 年 10 月 24 日結果發現)年度不對，請修正。	感謝建議，已修正。
2. 報告書 25 頁初步結論之敘述能否再更清楚。	感謝指教。

<p>3. 輸砂量被往下游帶，是否為自然事件影響或是因拆壩所造成的，請詳細說明。</p>	<p>感謝意見。七家灣溪屬於礫石等大粒徑組成的河道，溯源侵蝕過程為大流量所驅動(Pizzuto, 2002)，因此，壩體拆除後，庫區後的泥砂同時因拆壩與水文事件的影響，被帶往下游。。</p>
<p>謝耿洲技正</p>	
<p>1. 攔砂壩拆壩之後上游是否有新的崩塌地發生？</p>	<p>根據王筱雯(七家灣溪一號壩壩體改善後河道環境衝擊評估, 2012)調查壩上游 500 公尺及下游 200 公尺內共 7 處崩塌。其中上游 115、250、310 及 425 公尺等四處崩塌地為 2010 年(王筱雯, 七家灣溪一號壩壩體及棲地改善工程—泥砂衝擊物理模型及數值分析, 2010)即已調查之舊有崩塌地，因強降雨而持續崩塌，使得面積增大，其餘三處皆為新生崩塌地。</p>
<p>林哲宇技士</p>	
<p>1. 有關「通洪」之定義為何？</p>	<p>通洪流量，或稱過水容量(Water carrying capacity)，係指斷面在單位時間內能通過之最大流量。</p>

附錄三

期末審查意見回覆

103 年度七家灣溪水文影像監測

委託辦理期末簡報審查意見處理情形

日期：中華民國 103 年 12 月 04 日 下午 1 點 30 分

地點：雪霸國家公園管理處 第一會議室

主持人：鍾 副處長 銘山

紀錄：鍾雲喜

審查意見	處理情形
一、鍾銘山副處長	
拆壩後對七家灣溪河道損害及如何防禦等措施提出後續因應之議題提供本處作為經營管理之參考。	感謝意見，本計畫已增加說明一號壩(第四章 4.1 定點監測之影像監測)及臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心河道現況(第五章河道通洪能力)，並提出後續因應之議題，以供經營管理之參考。
請受託單位提供本案監測工作未來是否確有持續進行之具體方案於建議事項內。	感謝建議，相關之持續監測工作建議如第六章之建議。
二、楊國華技正	
報告書之建議事項第 2 點緊急狀況已納入本處災害應變措施中。	感謝意見。
三、林哲宇技正	
水文監測進行至目前有何現象？未來須進行何種監測？	感謝建議。今年僅有一場近兩年重現期距流量事件，根據水文泥砂監測結果，該事件對七家灣溪河道狀況未有明顯影響。由於七家灣溪河道在不同強度水文事件下之環境變動性與複雜性高，因此建議未來仍需針對水文、泥砂進行長期監測。
報告書編排請依據本處報告書格式範例。	感謝意見。
四、鍾雲喜課員	
報告書 P1 第一行及 P10 第二行請補(櫻花)2 字。	感謝指正。

